

# 간섭제거시스템을 사용한 다중서비스 환경에서 Outage 확률에 의한 역방향 셀 용량 분석

준회원 박재원\*, 정회원 박용완\*, 유재황\*\*, 최군돈\*\*

Analysis on the reverse link cell capacity with outage probability  
in multi service by using Interference Canceller

Jae-Won Park\* Associate Member,

Yong-Wan Park\*, Jae-Hwang Yu\*\*, Goon-Don Choi\*\* Regular Members

## 요 약

본 논문에서는 멀티서비스를 제공하는 환경 하에서 간섭제거시스템(Interference Canceller)을 적용한 경우 WCDMA 방식인 비동기 IMT-2000 시스템의 역방향 링크(Reverse Link) 용량을 수학적으로 분석하였다. 간섭제거 시스템을 적용하였을 경우 용량은 다중접속간섭(MAI)과 Inter(외부) 셀 간섭을 고려하여 outage 확률을 만족하는 고속의 데이터서비스 사용자와 저속의 음성서비스 사용자 수로서 분석하였다. IMT-2000비동기 시스템은 다중접속 구조로 대역확산(Spread Spectrum)기술에 기반을 둔 CDMA방식을 이용하는데 이러한 시스템의 용량은 전적으로 다른 사용자로부터 발생하는 간섭에 의해 결정되지만 간섭량을 정량적으로 산출하는 것은 상당히 어렵다. 그래서 Inter(외부) 대 Intra(내부)셀 간섭 비(ratio)인 Spillover ratio를 이용하여 멀티서비스(IMT-2000)환경에서 용량을 분석하였다. 멀티서비스 환경에서 Spillover ratio의 산출과 Intra셀 간섭(다중접속간섭)과 Inter셀 간섭을 고려하여 Outage 확률을 이용하였으며, 이를 바탕으로 멀티서비스 환경에서 다중접속간섭을 제거하여 용량을 증가시키는 간섭제거시스템의 적용에 따른 용량 및 용량이익(Capacity Gain)을 비교 분석하였다. 100%의 효율을 갖는 간섭제거 시스템을 적용하면 각 환경에 따라 약 2 ~ 5배 정도의 용량이익을 얻는 결과를 제시하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we have analyzed mathematically the capacity of IMT-2000(WCDMA) reverse link with IC (Interference Canceller). Capacity is derived by the number of data service user(high speed) and voice service user(low speed) that have satisfied outage probability in multi-service environment considering the MAI(Multiple Access Interference) and Inter-cell interference. IMT-2000systems have utilized CDMA technique that has basis on the spread spectrum for the multiple access structure, so their capacity is very limited by the interference caused by data service users of inter and intra cell. But it is very difficult that we have calculated the interference accurately. In this paper, we proposed the model for the analysis of capacity at the multi service environment that using inter-cell interference to intra-cell interference ratio has the name of spillover ratio. This paper, we calculated the spillover ratio by a composition the service user at inter and intra cell, also presented the analysis model of capacity with outage probability as considering intra-cell and inter-cell interference. Using this capacity analysis model, we analyze the capacity and its gain with a canceller system that increases the system capacity by canceling the MAI or intra-cell interference. If we adapt canceller having 100% efficiency, we show the result that capacity gain factor is about 2 ~ 5 by each environment.

\* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신연구실(ywpark@yu.ac.kr), \*\* SK Telecom Network 연구소(jhyu@sktelecom.com)  
논문번호 : 020033-0123, 접수일자 : 2002년 1월 23일

## I. 서론

이동무선통신 시장에서 통신수요 증가에 따라 고용량을 가지는 무선통신시스템의 필요성이 대두되었고, 이에 기존 방식인 TDMA, FDMA에 비하여 높은 통신용량을 갖는 CDMA시스템이 국내에서 최초로 개발되어 상용화되었다. 하지만 이런 시스템은 음성위주의 서비스를 목표로 개발되어서 고속의 이동멀티미디어 서비스를 요구하는 수요자의 욕구를 충족시키기에 부족하였다. 이를 충족시키기 위해 다양한 서비스와 높은 품질의 통신을 제공하고, 세계를 단일 통화권(Roaming)으로 하는 종합 이동통신시스템인 IMT-2000이 설계되었다. IMT-2000기술 방식은 동기식과 비동기식으로 구분되는데 이를 구분하는 기준은 이동국과 기지국간의 시간동기를 맞추는데 위치추적시스템인 GPS(Global Positioning System)위성의 신호를 이용하는 차이이다. 그 중 비동기식인 WCDMA기술방식은 국제로밍을 중장기적으로 가장 효과적으로 지원할 수 있는 표준규격이다<sup>[1][2]</sup>. 이 기술의 다중접속구조로 대역확산(Spread Spectrum)기술에 기반을 둔 CDMA방식을 이용하는 데 이러한 시스템의 용량은 전적으로 간섭에 의해 결정된다<sup>[3]</sup>. 특히 이러한 방식은 모든 사용자들이 동시에 신호를 전송하고 각 사용자들은 상호 직교하는 코드를 사용하여 구별한다. 각 사용자가 서로 다른 코드를 사용하여 채널에 동시에 접속하게 되므로 다중경로 페이딩(Multipath fading), 지연 확산(Variable delay spread)등과 같은 여러 가지 요인에 의해 사용하는 직교코드 신호간의 완벽한 직교성이 이루어지지 않아 각 신호간에 임의의 시간 오프셋(Random time offset)이 발생하고 이 결과로 다중접속간섭(MAI: Multiple Access Interference)이 발생하게 된다.

이 다중접속간섭은 한명의 사용자에게 의한 간섭은 큰 문제가 되지 않지만 사용자의 수가 증가할수록 시스템의 성능과 채널의 용량에 상당한 영향을 미치게 된다<sup>[4][5]</sup>. 다중접속간섭뿐만 아니라 다양한 이동멀티미디어 서비스를 제공하는 IMT-2000에서는 고속의 데이터서비스를 요구하는 사용자들로부터 저속의 음성서비스 사용자들이 받는 Intra(내부)셀 및 Inter(외부)셀간의 간섭이 상당히 증대되어 기존 시스템보다 성능이 저하될 우려가 있다. 이는 기존의 무선통신시스템(2세대)과 비교해서 훨씬 더 많은 채널용량 확보를 목표로 하고있는 IMT-2000시스템에

서 해결해야 될 중요한 문제이다. 이를 해결하기 위해 멀티서비스 환경에서의 용량문제, 상호 서비스간 간섭정도 등에 관한 정확한 분석이 우선적으로 이루어져야 한다. IMT-2000에서는 충분한 용량 확보를 위해 다중사용자 간섭제거시스템과 스마트 안테나 등의 추가적인 기술을 사용하여 기존의 수신기에 비해 다중접속간섭에 내성이 있는 시스템을 고려하고 있다. 최근까지 여러 문헌에서 언급한 CDMA시스템 용량분석은 단일(Single)서비스 환경을 위한 모델들이 대부분이고<sup>[3][6][7][8]</sup>, 멀티(Multi)서비스 환경에서의 용량분석은 미비한 상황이다.

본 논문에서는 Inter(외부) 대 Intra(내부)셀 간섭비(ratio)인 Spillover ratio를 이용하였으며<sup>[4][8][9]</sup>, 다중접속간섭과 Inter셀 간섭을 고려한 멀티서비스 환경에서 다중접속간섭제거시스템을 사용한 경우 고속의 데이터서비스 사용자와 저속의 음성서비스 사용자 수로서 WCDMA방식인 비동기 IMT-2000시스템에서 역방향 링크의 용량을 수학적으로 분석하였다. 간섭제거시스템을 고려한 용량분석은 H. Holma 와 A. Toskala 등에 의해서 제안된 간섭제거시스템 효율(efficiency)을 이용하였다<sup>[6][8][15]</sup>.

CDMA시스템에서 동일한 시간과 대역을 공유하면서 서로 다른 코드를 이용하여 다중접속을 하므로 발생하는 다중접속간섭(MPI)을 효과적으로 제거하여 전체시스템의 용량을 증대 시켜주는 간섭제거시스템은 3.5세대 무선 이동통신시스템에서 기지국(Base station)에 적용될 예정이고, 이는 고속의 이동멀티서비스를 원활하게 제공하는데 큰 역할을 할 것이며, 현재 국내외에서 많은 연구가 진행 중이다<sup>[4][5][10]</sup>.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 트래픽 및 셀 모델에 대해 언급하고, III장에서는 멀티서비스 환경에서 간섭제거시스템을 적용한 경우 Outage 확률을 이용하여 역방향 셀 용량을 분석하였다. IV장은 III장에서 분석한 수식을 바탕으로 수치적인 해석 결과를 도시하며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 트래픽 및 셀 모델링

본 논문에서 시스템 모델은 셀룰러구조와 전파감쇠법칙을 사용하여 제시하였다. 셀룰러 구조는 Micro셀의 존재하는 4-tired cell (4-cluster)까지 본 논문에서 고려하였다. Reference셀은 cluster 중앙셀로 정의하고, 마이크로 셀의 반경을  $a$ , Reference셀과 Inter셀의 기지국간 거리를  $r(n,i)$ 로 가정하였

다.  $r(n,i)$ 은 다음 식으로 표현할 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$r(n,i) = \sqrt{3} \cdot a \cdot \sqrt{n^2 + i^2} - n \cdot i \quad (1)$$

여기서  $n$ 과  $i$ 는 각각  $n$ 번째 Tired셀과  $i$ 번째 Position을 나타낸다. 그림 1은 CDMA 시스템에서 Reference셀 또는 Intra셀의 기지국과 Inter셀의 기지국과의 거리를 도시한다. 그림 1(b)에서 Inter셀의 임의의 서비스 사용자( $m$ )로부터 Reference셀의 기지국( $B_h$ )까지 거리가  $x$ 이고, 임의의 서비스 사용자( $m$ )가 속한 셀의 기지국( $B_o$ )까지의 거리와 각도를  $y$ ,  $\theta$  로 표현한다.

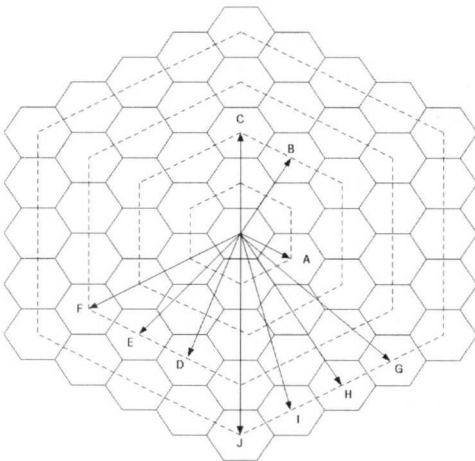


그림 1(a). Reference(기준)셀과 Inter(외부)셀과의 거리

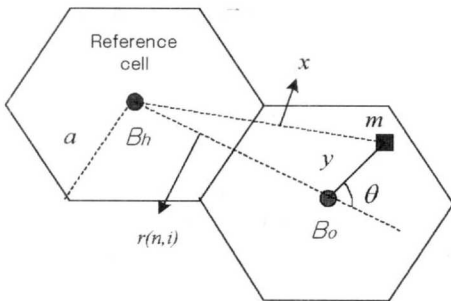


그림 1(b). 기준(Reference) 셀과 1-Tired셀과의 거리

표 1은 그림 1에서 보여준 Tired셀의 거리와 각 Position의 셀 개수를 나타낸다. 전파감쇠 모델은 일반적으로 거리에 따른 경로손실(Path loss)로 전력법칙(Power law)과 전파음영(Shadowing)에 의한 감쇠를 나타내는 Log-normal 랜덤변수의 곱으로 이루어졌다.

표 1. 기준(Reference) 셀로부터 각 Type(A, B, C)에 따른 거리와 셀 개수.

$n$	Type	$i$	Distance( $r$ )	No (cell)
1	A	1	$\sqrt{3} \cdot a$	6
	B	1	$3 \cdot a$	6
2	C	2	$2\sqrt{3} \cdot a$	6
	D	1	$\sqrt{21} \cdot a$	6
3	E	2	$\sqrt{21} \cdot a$	6
	F	3	$3\sqrt{3} \cdot a$	6
	G	1	$\sqrt{39} \cdot a$	6
4	H	2	$6 \cdot a$	6
	I	3	$\sqrt{39} \cdot a$	6
	J	4	$4\sqrt{3} \cdot a$	6
...	...	...	...	...
$n$	...	$i$	$\sqrt{3} \cdot a \cdot \sqrt{n^2 + i^2}$	6

식은 다음과 같다<sup>[3][12]</sup>.

$$\chi(\gamma, \xi) = \gamma^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\xi}{10}} \quad (2)$$

여기서  $\gamma$  은 기지국과 사용자 사이의 거리를,  $\xi$  는 표준 편차( $\sigma$ )가 8dB이고 평균 값이 0dB인 가우시안(Gaussian) 랜덤변수를 나타낸다.  $\alpha$  는 경로손실(Path loss) 상수로 2~5정도의 값을 가진다. 그리고  $\xi$  는 음영효과에 의한 손실로  $i$ 번째 기지국의 전파음영 성분( $\xi_i$ )은 이동국 주위의 전파음영 성분( $a \cdot \xi_i$ )와 기지국 주위의 전파음영 성분( $b \cdot \xi_i$ )의 합으로 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>[12][13]</sup>.

$$\zeta_i = a \cdot \xi_i + b \cdot \xi_i, \text{ where } a^2 + b^2 = 1, 0 \leq a, b \leq 1 \quad (3)$$

여기에서 이동국으로부터 다른 두 기지국까지의 전파음영 성분은 서로 의존적이고, 다른 기지국에서 임의의 기지국사이의 전파음영 성분은 서로 독립적이다. 그리고 전파음영 성분은 다음과 같은 특성을 가진다.

$$\begin{aligned} E[\zeta_i] &= E[\xi_i] = E[\xi_j] = 0, \quad Var(\zeta_i) = Var(\xi_i) = Var(\xi_j) = \sigma^2 \text{ for all } i \\ E[\xi_i \cdot \xi_j] &= 0 \text{ for all } i, \quad E[\xi_i \cdot \xi_j] = 0 \text{ for all } i \text{ and } j, i \neq j \end{aligned} \quad (4)$$

본 논문에서 전파감쇠 모델은 경로손실(Path loss)을 표현한 Fourth 전력법칙( $\alpha = 4$ )만을 고려하였다.



표 2. 역방향 링크에서 각 서비스에 요구되는  $E_b/N_0$

Data rate	8Kbps	64Kbps	144Kbps	384Kbps
$E_b/N_0$	6.8 dB	3.6 dB	2.9 dB	2.3 dB

멀티서비스환경은 데이터서비스를 요구하는 사용자와 음성서비스를 요구하는 사용자가 동일 셀 내에 공존하는 환경이다.

본 논문에서 적용된 멀티서비스(WCDMA)환경의 트래픽모델은 ITU-R에서 제공하는 권고안과 3Gpp (3rd Generation Partnership project; WCDMA) 25 .xxx 시리즈에서 명시된 서비스 종류를 참고하였다. 음성과 데이터서비스를 요구하는 사용자들의 전송속도는 각각 8Kbps, 64Kbps, 144Kbps, 384Kbps, 240Kbps, 480Kbps, 960Kbps로 구성하였으며, 시스템 대역폭은 3.84MHz로 3Gpp에서 제시한 값을 이용하였다<sup>[14]</sup>.

표 2는 역방향 링크(Reverse Link)에서 각 서비스에 요구되는  $E_b/N_0$ 를 ARIB (Vehicular, Mobile 속도; 120 km/h, UDD)에서 인용하여 표현하였다. 240Kbps, 480Kbps와 960Kbps에 대한  $E_b/N_0$  값은 각각 2.4dB, 1.9dB, 1.5dB로 설정하였다.

각 서비스의 수신된 신호레벨(Signal Level)을 식 (5)와 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} S_{rx}^d &= E_b^d \cdot R_d & E_b^d &= (E_b / N_0)_{req}^d \cdot N_0 \\ S_{rx}^v &= E_b^v \cdot R_v & E_b^v &= (E_b / N_0)_{req}^v \cdot N_0 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $S_{rx}$ 는 수신된 신호레벨을 의미하고,  $d$ 는 데이터서비스를,  $v$ 는 음성서비스를 나타내며,  $E_b$ 는 비트(Bit) 에너지를,  $R$ 은 서비스 속도를 표현한다.

그리고  $N_0$ 는 잡음 밀도로 174dBm/Hz으로 설정하였다.

### III. 역방향 셀 용량 분석

#### 1. 셀간 간섭

역방향 셀 용량을 분석하기 전에 CDMA시스템의 용량에 영향을 크게 미치는 인자를 정확히 파악하는 일이 매우 중요하다. 이 장에서는 CDMA시스템의 용량을 크게 감소시키는 간섭(Interference)에 대해 논한다.

##### 1.1 단일서비스 환경에서 간섭

간섭은 Reference 셀에서 동일한 주파수대역에 다

중사용자가 동시에 접속함으로 발생하는 다중접속간섭(MAI)과 인접 셀들의 다른 신호들로부터 영향을 받는 Inter셀 간섭으로 나누어진다.

본 절에서는 Inter(외부)대 Intra(내부)셀 간섭비(ratio)로 알려진 Spillover ratio를 이용하여 단일서비스 환경에서 간섭을 분석하였다. Reference 셀에서 기지국에 수신된 전체 간섭량은 외부 간섭과 내부 간섭량의 합으로 이루어진다.

식은 다음과 같다<sup>[4][8][9]</sup>.

$$\begin{aligned} I_{total} &= I_{intra} + I_{inter} = (1 + f) \cdot I_{intra} \\ \text{where, } f &= \frac{I_{inter}}{I_{intra}} \end{aligned} \quad (6)$$

위 식에서  $f$ 는 Spillover ratio를 의미하고,  $I$ 는 간섭량을 나타낸다. Intra셀의 간섭은 전력제어(Power Control)가 완벽하면 원하는 신호를 제외한 나머지 신호들의 수신전력 합으로 이루어지고, Inter셀에서의 간섭은 Inter셀에 분포된 사용자들로부터 수신된 신호전력 합으로 구성된다.

다음은 Inter셀에서 단일서비스 사용자들만 분포되었을 경우 경로손실로 fourth 전력법칙을 적용한 일반적인 Inter셀 간섭을 나타낸다<sup>[11][12]</sup>.

$$\begin{aligned} I_{inter}^M &= S_{rx}^{bh}(x) = \int S_{rx}^M \cdot \left(\frac{y}{x}\right)^\alpha \cdot \eta_M \cdot dA \\ &= 6 \cdot \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{i=1}^n 2 \cdot N_u^M \cdot S_{rx}^M \cdot \left\{ 2 \cdot t^2 \cdot \ln\left(\frac{t^2}{t^2-1}\right) - \frac{4 \cdot t^4 - 6 \cdot t^2 + 1}{2 \cdot (t^2-1)^2} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where, } x &= \sqrt{r(n,i)^2 + y^2 + 2 \cdot r(n,i) \cdot y \cdot \cos\theta}, \quad \eta_M = \frac{N_u^M}{\pi \cdot a^2}, \\ t &= \frac{r(n,i)}{a} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{n^2 + i^2 - n \cdot i} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\eta$ 는 사용자 밀도분포를,  $N_u$ 는 사용자 수,  $M$ 은 서비스 종류를 나타낸다.  $M$ 대신에  $v$ 를 대입하면 음성을,  $d$ 를 대입하면 데이터를 의미한다. 그리고 Inter셀의 기지국( $B_o$ )이 임의의 서비스 사용자( $m$ )로부터 수신한 전력을  $S_{rx}^M$ 라 표현하고,  $S_{rx}^M$ 는 Intra셀의 기지국( $B_h$ )에서 Inter셀의 임의의 서비스 사용자( $m$ )로부터 측정된 수신전력으로 Inter셀로부터 오는 간섭을 의미한다.  $N_s$ 는 총 Tired셀을 나타내는데 본 논문에서는 4 tired셀까지 고려한다.

##### 1.2 다중서비스 환경에서 간섭

본 절에서는 다중서비스 환경에서 간섭을 분석하였다. 다중서비스 환경에서 용량분석을 위해 적용되

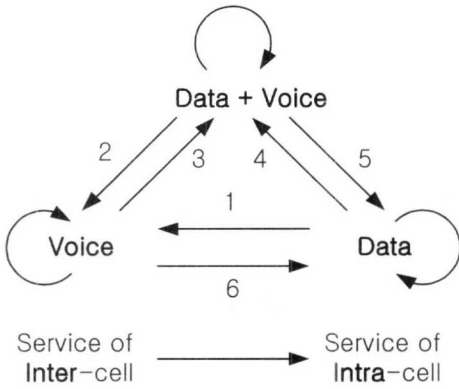


그림 2. Intra 및 Inter셀에서 각 서비스 종류를 나타내는 모든 경우의 수

는 Intra셀 간섭은 저속의 음성서비스 사용자가 고속의 데이터서비스 사용자로부터 받는 간섭으로 정의한다. 그 이유는 고속의 데이터서비스 사용자들이 저속의 음성서비스 사용자들로부터 받는 간섭을 위 경우와 비교하였을 때 상대적으로 아주 작아서 큰 문제가 되지 않기 때문이다.

그림 2는 Inter셀 및 Intra셀에서 발생하는 서비스의 종류를 경우의 수로 나열한 것이다. 화살표의 시작점은 Inter셀의 서비스종류를, 끝점은 Intra셀의 서비스종류를 나타낸다.

예로 Data→Data+Voice인 경우(Case4), Inter셀에는 Data서비스를 요구하는 사용자들로부터, Intra셀에는 Data뿐만 아니라 Voice서비스를 요구하는 사용자들로 구성된 것을 의미한다.

여기에서 Data+Voice→Data+Voice, Data→Data, Voice→Voice는 단일(Single)서비스와 동일한 경우를 나타내고 일반적으로 단일서비스일 경우 Spillover ratio는 약 0.55이며<sup>[4][9]</sup>, 나머지는 다중(혼합) 서비스환경을 나타낸다. 본 논문에서는 그림 2에 나타난 Case1~6인 경우에 대하여 Spillover ratio를 산출하였다. 예로 그림 2에서 Case2(Data+Voice→Data)의 경우 Spillover ratio는 식 (7)을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{case2} = \frac{I_{inter}^{v+d}}{I_{intra}^v} = \frac{I_{inter}^v + I_{inter}^d}{I_{intra}^v}$$

$$= 1 + \frac{N_u^d \cdot S_{rx}^d \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^n 12 \cdot \left[ 2 \cdot t^2 \cdot \ln \left( \frac{t^2}{t^2-1} \right) - \frac{4 \cdot t^4 - 6 \cdot t^2 + 1}{2 \cdot (t^2-1)^2} \right]}{S_{rx}^v \cdot N_u^v}$$

(8)

Voice서비스와 Data서비스가 동시에 제공되는 환경에서 간섭은 각 서비스에 대한 간섭의 합으로 이루어진다. 이는 CDMA시스템에서 간섭이 어떤 서비스를 요구하는 사용자의 전력의 합에 의존하기 때문이다. 나머지의 경우도 위와 동일하게 식 (7)을 이용하여 유도할 수 있다.

다음은 Intra셀의 사용자분포에 따라 Spillover ratio에 어떤 영향이 미치는지 알아보기 위해 Inter셀의 서비스 환경은 동일한 환경(fix)으로 가정하고 Spillover ratio를 산출하기 위한 수식을 유도하였다. 식 (9)는 Intra셀에서 음성 또는 데이터의 단일서비스를 제공할 경우 Spillover ratio를 표현한 것이다.

$$f_v = \frac{I_{inter}^{fix}}{I_{intra}^v} = \frac{I_{inter}^{fix}}{S_{rx}^v \cdot (N_u^v - 1)}, \quad f_d = \frac{I_{inter}^{fix}}{I_{intra}^d} = \frac{I_{inter}^{fix}}{S_{rx}^d \cdot (N_u^d - 1)} \quad (9)$$

위 식을 이용하여 Intra셀의 멀티서비스 환경에서 Spillover ratio를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$f_{v+d} = \frac{I_{inter}^{fix}}{I_{intra}^v + I_{intra}^d} = \frac{I_{inter}^{fix}}{f_d \cdot I_{inter}^{fix} + f_v \cdot I_{inter}^{fix}} = \frac{f_v \cdot f_d}{f_v + f_d} \quad (10)$$

식 (10)은 Intra셀에서 음성과 데이터의 혼합된 서비스를 제공할 경우 Spillover ratio는 각각의 단일 서비스(음성 또는 데이터)에 대한 Spillover ratio의 곱과 합에 의한 비(ratio)로서 표현됨을 보여준다. 식 (8)과 식 (10)은 V장에서 용량 분석을 위한 중요한 인자로 전자는 Inter셀과 Intra셀의 서비스환경이 모두 변하는 조건에서 Spillover ratio를 산출하기 위해 유도된 식이고, 후자는 Inter셀을 동일한 환경으로 가정하고 Intra셀에서 제공되는 서비스의 종류에 의해서 Spillover ratio를 결정할 수 있는 식이다.

## 2. 간섭제거시스템 효율

이 절에서는 내부(Intra)셀의 간섭인 다중접속간섭(MAI)을 제거하여 용량을 증가시키는 간섭제거시스템(Canceller or MUD: Multi-User Detector)의 효율과 이 시스템을 사용하여 다중접속간섭을 제거하였을 경우 용량이득(Capacity Gain)에 대해서 논한다. 간섭제거시스템 적용에 의한 용량분석은 H. Holma 와 A. Toskala 등에 의해서 제안된 MUD 효율(efficiency)을 이용하였다<sup>[6][8][15]</sup>.

식은 다음과 같다.

$$K_{RAKE} = (1 - \beta) \cdot K_{MUD} \quad (11)$$

$K_{RAKE}$ 는 Rake수신기를 사용하여 검출할 수 있는 사용자 수를 의미하고,  $K_{MUD}$ 는 간섭제거시스템(다중 사용자 검출기)를 사용하여 검출할 수 있는 사용자를 나타낸다.  $\beta$ 는 간섭제거시스템 효율을 나타내고, 이 효율이 좋을수록 간섭제거시스템으로 검출할 수 있는 사용자는 증가하게 된다. 따라서 간섭제거시스템 효율( $\beta$ )는 시스템 용량을 증가시켜 주는 인자로 작용한다. 그리고  $\beta$ 를 Intra셀 간섭(MAI)을 감소시켜주는 인자로 표현하면 다음과 같다.

$$I_{intra}^{MUD,M} = I_{intra}^M - \beta_M \cdot I_{intra}^M = (1 - \beta_M) \cdot I_{intra}^M \quad (12)$$

위 식은 간섭제거시스템을 사용하여 Intra셀의 간섭을 제거한 후 존재하는 Intra셀 간섭을 나타낸다. 여기서  $M$ 은 서비스 종류를 의미한다. 그리고 멀티 서비스 환경에서 위 식을 이용하여 Intra셀 간섭을 표현하면 다음과 같다.

$$I_{intra}^{MUD,v+d} = I_{intra}^{MUD,v} + I_{intra}^{MUD,d} = (1 - \beta_v) \cdot I_{intra}^v + (1 - \beta_d) \cdot I_{intra}^d \quad (13)$$

식 (13)은 간섭제거시스템을 사용하여 Intra셀의 간섭인 다중접속간섭을 제거하는 항으로 V장에서 용량을 분석하는데 매우 중요한 인자이다.

일반적으로 단일서비스 환경에서 용량분석 모델은 다음과 같다<sup>[3][6][8]</sup>.

$$N_u \approx \frac{G_p \cdot \lambda}{(E_b / N_o) \cdot (1 + f) \cdot \nu} \quad (14)$$

여기서  $G_p$ 는 처리이득(Processing Gain)이고,  $\lambda$ ,  $\nu$ 는 섹터화효과와 음성활성도를 나타낸다. 간섭제거시스템을 사용하여 Intra셀의 다중접속간섭이 이상적으로 모두 제거 될 경우를 고려해 보자. 우선 식 (14)의 분모 항에서  $1+f$ 는 다중서비스 환경에서 전체간섭을 나타낸다. Intra셀의 간섭이 1이면, Inter셀의 간섭이  $f$ 임을 의미한다. 여기서 Intra셀의 간섭이 간섭제거시스템에 의해서 완전히 제거된 경우를 수식으로 표현하려면  $(1+f)/f$ 를 곱해주면 된다. 결국  $1+f$ 는 제거되고  $f$ 만 남는 형태가 되어 Intra셀의 간섭은 모두 제거되었음을 나타낸다. 여기서  $(1+f)/f$ 는 용량이득(Capacity gain)이라고 한다.

단일서비스(Spillover ratio: 0.55)에서 용량이득은 약 2.8배가 된다<sup>[4][6]</sup>.

그림 3에서 MUD 효율과 Spillover ratio에 따른 용량이득을 나타내었다. 내부(Intra)셀 간섭이 완전

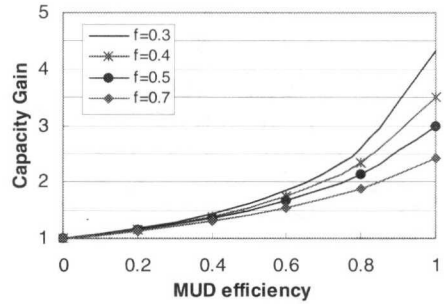


그림 3. Spillover ratio와 MUD 효율에 의한 용량 이득 (Capacity Gain)

표 3.  $E_b/N_o$ 에 따른 간섭제거시스템(MUD) 효율

$E_b/N_o$ (dB)	KRAKE	KMUD	MUD 효율(%)
5.1	5 - 6	15	64 71
5.9	3 - 4	10	60 - 70

히 제거되었을 경우 Spillover ratio가 0.3, 0.4, 0.5, 0.7이면 용량은 약 2.4, 3, 3.5, 4.3 배의 이득을 얻는다. 표 3은 간섭제거시스템 효율을 참고문헌 [15]에서 인용한 것이다.

### 3. 간섭제거시스템을 적용 시 용량 분석

다중(Multi)서비스를 제공하는 환경에서 Outage 확률(Probability)을 이용하여 용량을 예측하는 모델이 C. Tellea-Labao 등에 의해 제안되었다<sup>[16]</sup>. 하지만 이 모델에서는 Intra셀의 간섭을 고려하지 않았으며, Inter셀의 간섭인자로서 정규화(Normalized)된 간섭을 이용하여 유도하였다. 본 논문에서는 멀티서비스를 제공하는 환경 하에서 Intra셀의 간섭인 다중접속간섭(MAI)을 고려하여 용량 분석을 수행하였다. Inter셀의 간섭인자로서 III장 1절에서 유도하여 Spillover ratio를 표현한 식 (8)과 식 (10)을 이용하였으며, 다중접속간섭을 제거하여 용량을 증가시키는 간섭제거시스템을 적용하였을 경우 용량을 분석하였다. 간섭제거시스템을 표현하는 인자로 MUD 효율을 이용하여 유도된 식 (13)을 적용하였다.

#### 3.1. 정규화된 간섭을 이용한 용량분석

멀티서비스 환경에서 간섭제거시스템을 적용한 경우 음성서비스 사용자와 데이터서비스 사용자의 요구되는  $E_b/N_o$ 를 간섭제거시스템 사용으로 감소된 Intra셀의 간섭과 Inter셀의 간섭 항으로 표현하면 다음과 같다.



$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_v = G_p^v \cdot \frac{S_{rx}^v}{N} = \frac{G_p^v \cdot S_{rx}^v}{I_{intra}^{MUD,v+d} + I_{inter} + \sigma^2} \quad (15)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d = G_p^d \cdot \frac{S_{rx}^d}{N} = \frac{G_p^d \cdot S_{rx}^d}{I_{intra}^{MUD,v+d} + I_{inter} + \sigma^2} \quad (16)$$

위 식에서  $v$ 와  $d$ 는 음성과 데이터서비스를 의미하고,  $N$ 은 전체 잡음레벨을 나타낸다.  $N$ 는 Intra셀 간섭과 Inter셀 간섭, 배경 잡음의 합으로 이루어지며, Intra셀 간섭과 Inter셀 간섭은 음성서비스와 데이터서비스 사용자들로부터 영향을 받는 간섭으로 이루어진다. 식 (13)을 이용하여 위 두 식을 다시 표현하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d &= \frac{G_p^d \cdot S_{rx}^d}{(1-\beta_v) \cdot I_{intra}^v + (1-\beta_d) \cdot I_{intra}^d + I_{inter} + \sigma^2} \\ &= \frac{G_p^d}{(1-\beta_v) \cdot \left(\frac{I_{intra}^v}{S_{rx}^d}\right) + (1-\beta_d) \cdot \varphi_{intra}^d + \varphi_{inter}^d + \frac{\sigma^2}{S_{rx}^d}} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d &= \frac{G_p^d \cdot S_{rx}^d}{(1-\beta_v) \cdot I_{intra}^v + (1-\beta_d) \cdot I_{intra}^d + I_{inter} + \sigma^2} \\ &= \frac{G_p^d}{(1-\beta_v) \cdot \left(\frac{I_{intra}^v}{S_{rx}^d}\right) + (1-\beta_d) \cdot \varphi_{intra}^d + \varphi_{inter}^d + \frac{\sigma^2}{S_{rx}^d}} \end{aligned} \quad (18)$$

여기서  $\varphi^M$ 는 정규화(Normalized)된 간섭으로 간섭대 신호비( $I/S$ )를 의미한다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \varphi_{intra}^M &= \frac{I_{intra}^M}{S_{rx}^M} \quad \text{where, } I_{intra}^M = S_{rx}^M \cdot (N_u^M - 1) \\ \varphi_{intra}^M &\approx N_u^M, \quad \varphi_{inter}^M = \frac{I_{inter}}{S_{rx}^M} \end{aligned} \quad (19)$$

$\sigma^2$ 은 열(Thermal)잡음 등 배경(Background) 잡음을 나타내고 식 (17)과 식 (18)의 마지막 항의 인자( $\sigma^2/S$ )는 매우 작으므로 본 논문에서는 무시한다. 또한 음성서비스와 데이터서비스를 요구하는 사용자들의  $E_b/N_0$ 비(ratio)를 정의할 수 있는데, 식은 다음과 같다.

$$\frac{(E_b/N_0)_d}{(E_b/N_0)_v} = \frac{G_p^d \cdot S_{rx}^d}{G_p^v \cdot S_{rx}^v} \quad (20)$$

이 식을 다시 표현하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} S_{rx}^d &= k \cdot r \cdot S_{rx}^v \\ \text{where, } k &= G_p^v / G_p^d, \quad r = (E_b/N_0)_d / (E_b/N_0)_v \end{aligned} \quad (21)$$

식 (21)를 이용하여 식 (17)과 (18)를 정규화(Normalized)된 간섭의 형태로 다시 정리하면 다음과 같다.

$$(1-\beta_v) \cdot \varphi_{intra}^v + (1-\beta_d) \cdot \varphi_{intra}^d \cdot k \cdot r + \varphi_{inter}^v \leq \frac{G_p^v \cdot r}{(E_b/N_0)_d} = \frac{G_p^v}{(E_b/N_0)_v} \quad (22)$$

$$(1-\beta_v) \cdot \varphi_{intra}^v + (1-\beta_d) \cdot \varphi_{intra}^d \cdot k \cdot r + \varphi_{inter}^v \leq \frac{G_p^v}{(E_b/N_0)_v} \quad (23)$$

음성과 데이터서비스를 요구하는 사용자들의 를 정규화된 간섭의 형태로 표현하면 동일한 결과식이 유도됨을 알 수 있다. 다음 조건들을 식 (22), (23)중 하나의 식에 대입하여 정리하면 식 (24)와 같다.

$$\begin{aligned} (1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot \varphi_{intra}^v + (1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot \varphi_{intra}^d \cdot k \cdot r &\leq \frac{G_p^v}{(E_b/N_0)_v} \\ \varphi_{inter}^v &= \frac{I_{inter}}{S_{rx}^v}, \quad I_{inter} = f_{v+d} \cdot I_{intra}^{v+d}, \quad I_{intra}^{v+d} = I_{intra}^v + I_{intra}^d \end{aligned} \quad (24)$$

본 논문에서 Inter셀이 다중셀(4 cluster)이므로 지향성(섹터화효과)과 음성활성화를 고려하였다. 실제로 3섹터시스템과 6섹터시스템은 약 2.5와 5배의 섹터화 이득을 갖는다. 음성활성화는 통계적으로 통화 중에 송화자가 말하는 시간은 40 ~ 50%로 알려져 있다<sup>[17]</sup>. 섹터화 이득과 음성활성화를 고려하여 식 (24)를 다시 표현하면 다음과 같다.

$$(1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot \varphi_{intra}^v + (1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot \varphi_{intra}^d \cdot k \cdot r \leq \frac{G_p^v}{(E_b/N_0)_v} \cdot \frac{\lambda}{\nu} \quad (25)$$

### 3.2. Outage 확률을 이용한 용량분석

본 절에서는 Outage 확률을 이용하여 용량을 분석한다. Outage 확률을 이용한 용량분석은 Iteration 알

고리즘을 사용하는데<sup>[16]</sup>, 여기서는 작은 초기 값을 가지는 음성서비스 사용자( $N_u^v$ )를 1만큼씩 증가시키면서 Outage 확률이 1%미만이 될 때까지 만족하는 값을 결정한다. 이 경우 데이터 사용자( $N_u^d$ )는 임의의 정해진 수로 고정을 하였다.

식 (25)를 Outage 확률을 구하기 위한 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_{outage} = P\left( (1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot \Phi_{outage}^v + (1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot \Phi_{outage}^d \cdot k \cdot r > \frac{G_p^*}{(E_b/N_0)_v} \cdot \frac{\lambda}{v} \right) \quad (26)$$

위 식에서 좌변 항은 정규화 된 전체간섭( $\Phi$ )을 나타내고, 전체간섭은 Gaussian 정규분포를 이루고 있다면 평균 값과 분산 값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} mean(a_\Phi) &= k_1 \cdot v_1 \cdot \{(1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot N_u^v + (1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot N_u^d \cdot k \cdot r\} \\ var(\sigma_\Phi^2) &= k_2 \cdot v_2 \cdot \{(1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot N_u^v + (1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot N_u^d \cdot k^2 \cdot r^2\} \quad (27) \end{aligned}$$

여기서  $v_1, v_2$ 는 음성활성화 계수를 나타내고,  $k_1, k_2$ 는 상수이며 각각 0.658, 0.208로 설정하였다<sup>[13][16]</sup>.

식 (26)을 식 (19)를 이용하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{outage} &= P\left( \Phi > \frac{G_p^*}{(E_b/N_0)_v} \cdot \frac{\lambda}{v} \right) = Q\left( \frac{\frac{G_p^*}{(E_b/N_0)_v} \cdot \frac{\lambda}{v} - a_\Phi}{\sigma_\Phi} \right) \\ &= P\left( N_u^v > \frac{G_p^*}{(1-\beta_v + f_{v+d}) \cdot (E_b/N_0)_v} \cdot \frac{\lambda}{v} - \frac{(1-\beta_d + f_{v+d}) \cdot N_u^d \cdot k \cdot r}{(1-\beta_v + f_{v+d})} \right) \quad (28) \end{aligned}$$

$Q(x)$ 는 다음과 같다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right) \cdot d\xi \quad (29)$$

표 4. Inter셀과 Intra셀의 환경에 따른 Spillover ratio

Inter cell			Intra cell			Service class	Inter cell	Intra cell	Spillover ratio
Type	Voice	Data	Type	Voice	Data				
A	32	0	A	32	0	Single	V	V	0.55
	32	0	B	16	2	Case 3	V	V+D	0.744
	32	0	C	0	4	Case 6	V	D	1.148
B	16	2	A	32	0	Case 2	V+D	V	0.407
	16	2	B	16	2	Single	V+D	V+D	0.55
	16	2	C	0	4	Case 5	V+D	D	0.849
C	0	4	A	32	0	Case 1	D	V	0.264
	0	4	B	16	2	Case 4	D	V+D	0.356
	0	4	C	0	4	Single	D	D	0.55

본 절에서는 유도된 식 (28)을 이용하여 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 음성서비스 사용자와 데이터서비스 사용자의 수로서 용량을 분석하였다. 또한 이 식으로 간섭제거시스템을 사용할 경우 용량이라도 수치적으로 분석할 수 있다.

#### IV. 수치 해석 결과

이 절에서는 전력제어가 이상적으로 이루어질 경우 Inter셀의 서비스 환경이 동일한 환경에서 Intra셀의 사용자 분포에 따른 Spillover ratio의 변화를 III장에서 유도한 식 (10)을 이용하여 수치해석하고, 이를 바탕으로 간섭제거시스템 효율에 의한 용량이득을 산출한다. 또한, 전력제어가 완벽할 때와 완벽하지 않을 경우 간섭제거시스템을 적용하여 1%미만까지 Outage 확률을 만족하는 음성 및 데이터서비스 사용자 수로서 용량을 수치적으로 해석하였다. 이는 3.2절에서 유도한 식 (28)을 이용하였다.

표 4는 음성서비스 사용자와 데이터 사용자의 서비스 속도가 8Kbps, 64Kbps일 경우 Inter셀과 Intra셀의 사용자 분포에 따른 Spillover ratio를 표현한 것이다.

여기서 전송량은 256Kbps이며, 단일서비스 환경에서 Spillover ratio는 0.55로 가정하였다. Inter셀의 환경을 3 type (A, B, C)으로, Intra셀도 3 type(A', B', C')으로 분류하였다. 예로 A-B' 환경은 Inter셀에서 음성서비스(8Kbps) 사용자가 32명 있고 Intra셀에는 음성서비스(8Kbps) 사용자 16명과 데이터서비스(64Kbps) 사용자 2명으로 구성된 환경이다. Inter셀의 환경이 A로 고정되어 있다면, Intra셀 환경이 A', B', C'로 변할수록 Spillover ratio가 증가한다. 이는 식에 의해 음성서비스 사용자 32명에 의한 간섭이 데이터서비스 사용자 4명에 의한 간섭보다 매우 크기 때문인데 다른 환경에서도 이와 같은 이유로 인해 동일한 결과가 발생한다.

그림 4는 표 4에 명시된 멀티서비스 환경에서 간섭제거시스템 효율에 따른 용량이득을 도시하고 있다. Intra셀의 간섭이 간섭제거시스템의 사용으로 완벽하게 제거되었다면 단일서비스일 때 약 2.8배의 이득이 있고, 각 멀티서비스 환경에 따라 약 1.8 ~ 4.75배까지 용량이득을 가진다. Case3, 5, 6의 멀티서비스 환경일 경우 단일서비스 환경보다 용량이득이 감소된다. 이것은 Case3, 5, 6환경에서 단일서비스 환경보다 Intra셀의 간섭이 적어 간섭제거시스템의 사용으로 간섭이 제거되는 정도가 감소하기 때



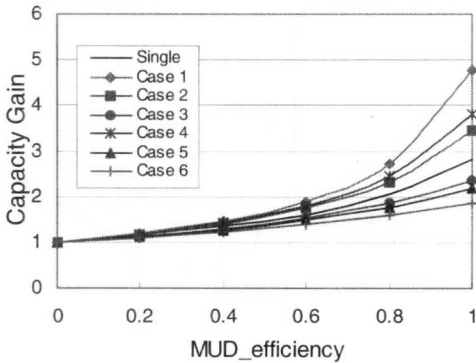


그림 4. 멀티서비스 환경(표 4)에서 간섭제거시스템 효율에 따른 용량이득 (Data: 64Kbps, Voice: 8Kbps)

문이다. Intra셀의 간섭이 적다는 의미는 Spillover ratio가 크다는 것이다. 다음은 간섭제거시스템을 사용할 경우 Outage 확률을 이용한 용량분석에 대하여 논한다. 본 논문에서는 정량적인 용량분석이 어려워 Outage 확률을 이용하였다.

그림 5, 6, 7, 8은 트래픽모델을 ITU-R에서 제공하는 권고안과 3Gpp (3rd Generation Partnership project; WCDMA) 25.xxx 시리즈에서 명시된 서비스 종류를 참고하였다. 음성과 데이터서비스를 요구하는 사용자들의 전송속도는 각각 8Kbps, 64Kbps, 144Kbps, 384Kbps, 240Kbps, 480Kbps, 960Kbps로 구성하였고, 시스템 대역폭은 3.84 MHz로 3Gpp에서 제시한 값을 이용하였다<sup>14</sup>. 각 서비스의 수신된 신호레벨 또는 수신감도(Sensitivity)를 식 (5)에서 산출하여 적용하였으며, 잡음밀도는 174dBm/Hz로 설정하였다. 역방향 링크(Reverse Link)에서 각 서비스(8, 64, 144, 384Kbps)에 요구되는  $E_b/N_0$ 는 표 2에서 나타낸 값을 인용하였다. 실제 시스템에서 간섭제거기의 성능이 완벽하지 못하므로 통화 품질을 만족하는 범위에서 일반적으로 간섭제거기

효율( $\beta$ )을 60% ~ 70%로 제시하고 있다<sup>15</sup>. 본 논문의 모의실험에서는 70%로 설정하였으며 Inter 대 Intra셀의 간섭비인 Spillover ratio는 0.67로 설정하였다.

그림 5는 데이터서비스 사용자의 비트 전송률이 144Kbps이고, 음성서비스 사용자의 비트 전송률이 8Kbps일 때 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 데이터서비스 사용자에 따른 음성서비스 사용자 수를 도시한 것이다. 144Kbps의 전송률을 가진 데이터서비스 사용자가 1, 2, 3, 4명일 때 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 최대 음성서비스 사용자수는 약 53명, 46명, 39명, 31명이며, 이 경우 데이터서비스를 요구하는 사용자가 증가할수록 음성서비스를 지원할 수 있는 사용자수는 선형적으로 감소하여 주파수효율이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 이는 데이터서비스를 요구하는 사용자가 증가함에 따라 Intra셀 간섭이 선형적으로 증가하기 때문이다.

그림 6은 데이터서비스 속도와 사용자수에 따라 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 음성서비스 사용자 수를 도시화하였다. 다중서비스 환경의 이동 통신 시스템에서 사용자 30명이 음성서비스를 요구한다면 그림 6에서 64Kbps, 144Kbps, 384Kbps의 전송 속도를 가진 데이터서비스 사용자는 최대 약 8명, 4명, 2명까지 지원 가능하다. 64, 144, 384Kbps의 데이터 전송속도를 가진 사용자가 각각 3명씩 서비스 요구한다면, 8 Kbps의 음성서비스 사용자는 각 50명, 40명, 10명까지 지원 가능하다.

전송속도 관점에서 보면 384Kbps는 64Kbps의 6배이다. 이는 64Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자가 6명과 384Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자 1명을 전송량 측면에서 보면 동일하다고 생각할 수 있다. 하지만 그림 6에서 보듯이 384Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자가 1명 일

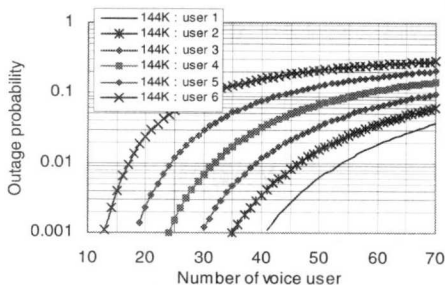


그림 5. Inter 및 Intra셀 간섭을 고려하면서 Outage 확률을 이용한 용량분석

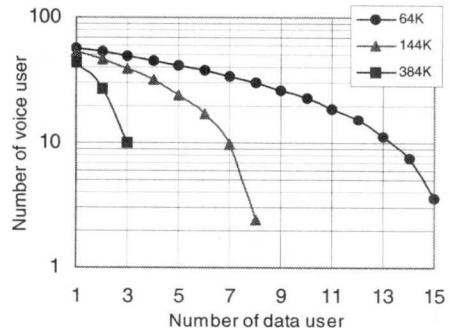


그림 6. Outage 확률을 만족하는 데이터서비스 속도와 사용자 수에 따른 음성서비스 사용자 수

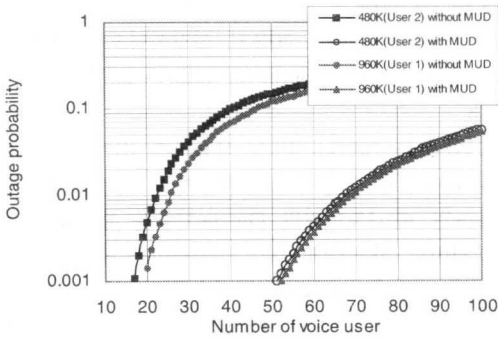


그림 7. 간섭제거시스템을 고려한 경우 Outage 확률을 이용한 용량분석

때 8Kbps의 음성서비스를 요구할 수 있는 사용자는 42명이고, 64Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자가 6명일 때 음성서비스를 요구할 수 있는 사용자는 39명이다. 동일한 채널 환경에 대한 경우, 전송량 측면에서 보면 384Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자 1명과 64Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자가 6명일 때와 동일하지만 용량 측면에서 보면 차이가 발생한다. 이것은 실제 시스템에서 다중 경로와 전파감쇠에 의한 채널 환경이 존재하고, 384 Kbps로 전송할 때 전력 레벨과 64 Kbps로 전송할 때 전력레벨의 비(ratio)가 6배만큼 되지 않기 때문이다.

그림 7에서는 전력제어가 완벽하게 이루어졌을 경우 간섭제거시스템을 사용하여 Intra 셀의 간섭을 어느 정도 감소시켰을 때 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 용량을 도식하였다.

480Kbps와 960Kbps의 데이터서비스를 요구하는 사용자가 2명과 1명이 존재할 경우(동일한 전송량) 1%미만의 Outage 확률을 만족하는 최대 음성서비스 사용자는 각각 22명 25명이다. 이 경우 간섭제거시스템을 사용하면 용량은 약 67명으로 동일하게 증가된다. 이는 480Kbps의 데이터서비스 사용자 2명으로부터의 간섭(MAI)이 960Kbps의 데이터서비스 사용자 1명의 간섭보다 크기 때문에 간섭제거시스템을 사용하면 480Kbps의 데이터서비스 2명을 지원하는 시스템에서 더욱 큰 효과를 얻는다. 이 결과로부터 동일한 전송량의 서비스를 지원하는 이동 무선통신 시스템에서 데이터서비스를 요구하는 사용자가 많을 때 간섭제거시스템을 사용하면 더욱 유리하다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 전력제어가 완벽하지 못한 실제환경에서 간섭제거시스템을 사용 시 용량을 보여준다.

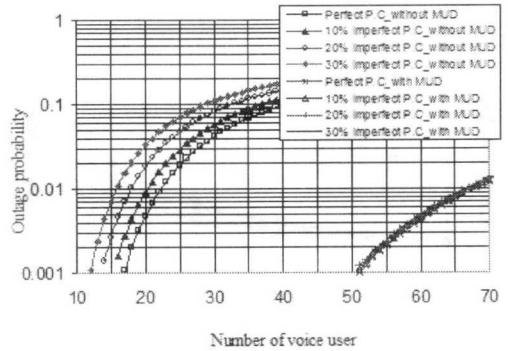


그림 8. 간섭제거시스템을 고려한 경우 전력제어에 따른 용량분석

전력제어가 완벽하고 간섭제거시스템을 사용하지 않을 경우(Perfect P.C.\_without MUD) 480Kbps의 데이터서비스 사용자 2명이 서비스를 요구하면 8Kbps의 음성서비스 사용자는 약 22명까지 서비스를 할 수 있다. 그러나 실제환경에서 전력제어는 완벽하지 못하기 때문에 10%, 20%, 30%의 전력제어가 되지 않을 경우(10%, 20%, 30% Imperfect P.C.\_without MUD)를 설정하여 1%의 Outage 확률을 만족하는 음성서비스 사용자의 수를 분석하였는데 각각의 용량은 20, 18, 16명이 됨을 확인하였다.

간섭제거시스템을 사용 시 전력제어가 완벽할 때(Perfect P.C.\_with MUD)와 10%, 20%, 30%의 전력제어가 안 된 경우(10%, 20%, 30% Imperfect P.C.\_without MUD)에 음성서비스 사용자의 수는 약 67명으로 유사한 용량을 얻는다. 10%, 20%, 30%의 전력제어가 안 된 환경에서 간섭제거시스템 사용 시 용량은 약 3.35배, 3.72배, 4.19배 증가하였다. 이는 10%, 20%의 전력제어가 안 되었을 때보다 30%의 전력제어가 되지 않는 경우에 간섭제거시스템의 효과가 크다는 것을 보여주는데 그 이유는 전력제어가 잘 되지 않을수록 다른 사용자로부터 받는 간섭의 영향이 더욱 증가하기 때문이다. 이 사실로부터 전력제어가 완벽하지 못한 실제환경 특히 도심지역에서 간섭제거시스템을 사용하면 훨씬 이득이 있다.

## V. 결론

IMT-2000 시스템에서는 기존의 시스템(2세대)보다는 더 많은 채널용량 확보를 목표로 하고있다. 충분한 용량확보를 위한 기술들이 활발히 연구, 개발되고 있다. 하지만 이를 위해 멀티서비스 환경에서



의 용량문제, 상호 서비스간 간섭정도 등에 관한 정확한 분석이 우선적으로 이루어져야 한다. 그래서 본 논문에서는 다양한 환경에서 Spillover ratio를 산출하였고, 멀티서비스 환경에서 Intra셀 및 Inter셀 간섭을 고려하면서 간섭제거시스템을 사용할 경우 용량을 분석하였다.

Intra 및 Inter셀의 간섭을 산출하기 위한 전파감쇠 모델은 거리에 따른 경로 손실(Path loss)을 표현한 Fourth 전력 법칙을 고려하였으며, 멀티서비스 환경은 음성서비스 사용자가 데이터서비스 사용자로 부터 영향을 받는 환경으로 설정하였다. 멀티서비스 환경에서 정량적인 용량분석이 어려워서 Outage 확률을 이용하였다. Outage 확률을 이용한 용량분석은 반복 알고리즘을 사용하는데 작은 초기 값을 가지는 음성서비스 사용자를 1만명씩 증가시키면서 Outage 확률이 1%미만이 될 때까지 만족하는 최대 지원 가능한 음성서비스 사용자의 수를 용량으로 결정하였다. 이 경우 데이터 사용자는 임의의 정해진 수로 고정시켰다. 수치적인 분석의 결과로부터 멀티서비스 환경에서 데이터서비스를 요구하는 사용자가 증가할 때 음성서비스를 요구하는 사용자수는 선형적으로 감소하여 주파수 효율이 크게 떨어짐을 알 수 있었다. 동일한 전송량의 서비스를 지원하는 이동무선통신시스템(IMT-2000)에서 데이터서비스를 요구하는 사용자가 많을 때 간섭제거시스템을 사용하면 더욱 유리하다는 것을 확인하였다. 그리고 일반적으로 본 논문에서 제시한 다양한 멀티서비스 환경에서 전력제어가 완벽할 경우 간섭제거시스템을 사용하면 용량이익은 약 2~5배만큼 증가한다. 수치 해석 결과로부터 전력제어가 잘 되지 않을수록 다른 사용자로부터 받는 간섭의 영향이 더욱 증가하여 간섭제거시스템을 사용함으로써 얻는 이익은 더욱 커진다는 것을 확인하였다. 따라서 전력제어가 완벽하지 못한 실제환경 특히 도심지역에서 간섭제거시스템을 사용하면 훨씬 이익이 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] D.Liter, S.Deaghan, R.Owen, P.Jones, "UMTS Capacity and Planning Issues", IEE con. Publish, Vol.471, pp.218-223, 2000.
- [2] D.Liter, S.Deaghan, R.Owen, P.Jones, "W-CDMA capacity and planning issues", *Electronics & Comm Engineering Journal*, Vol. 12, pp.101 118, June. 2000.
- [3] Klein S. Gilhousen, et al. "On the Capacity of a Cellular CDMA System", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 2, pp.303-312, May. 1991.
- [4] Alexandra Duel-Hallen, Jack Holtzman, And Zoran Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA Systems", *IEEE Personal Comm*, pp.46-58, April 1995.
- [5] S.Moshavi, "Multi-User Detection for DS-CDMA communications", *IEEE Comm. Magazine*, pp.124-136, Oct. 1996.
- [6] Seppo Hamalaninen, et al. "Capacity Evaluation of a Cellular CDMA Uplink with Multiuser Detection", *IEEE 4th International Symposium*, Vol. 1, pp.339 343, 1996.
- [7] A.M.Viterbi, A.J.Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 11, pp. 892 900, Aug. 1993.
- [8] H. Holma and J. Laakso. "Uplink Admission Control and Soft Capacity with MUD in CDMA", *proc. IEEE VTC*, pp.431-435. 1999.
- [9] A.J.Viterbi, A.M.Viterbi, Zehavi, "Other-cell interference in cellular power-controlled CDMA", *IEEE Transactions of E.Comm*, Vol.42, pp.1501 1504, February/March/April 1994.
- [10] T.Ojanpera, "Overview of multiuser detection /interference cancellation for DS-CDMA", *IEEE International Conference*, pp.115 119, 1997.
- [11] Jhong sam Lee, Leonard E.Miller *CDMA SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK*, Artech House Publishers, pp.4-18, 1998.
- [12] M.G.Jansen, R.Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 44, pp.67 75, Feb. 1995.
- [13] A.J.Viterbi, A.M.Viterbi, Gilhousen, K.S.; Zehavi, E., "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 12, pp.1281 1288, Oct. 1994.
- [14] 3GPP home page: <http://www.3gpp.org>



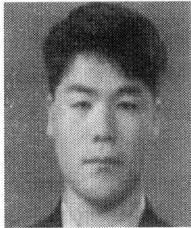
[15] Holma, H., Toskala, A., Hottinen, A., "Performance of CDMA multiuser detection with antenna diversity and closed loop power control". Vehicular Technology Conference, Vol. 1, pp.362-366, 1996.

[16] C. Tellez-Labao, et al. "Capacity Analysis of UTRA/TDD Systems, proc". IEEE VTC' 2000, pp. 2893-2898, 2000.

[17] S. C. Yang, CDMA RF SYSTEM ENGINEERING, Artech House Publishers, pp.83-85, 1998.

박재원(Jae-Won Park)

준회원



2000년 2월 : 영남대학교  
금속공학과 (공학사)

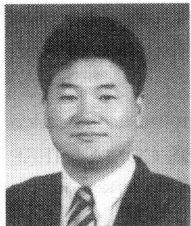
2002년 2월 : 영남대학교  
정보통신공학과(공학석사)

2002년 3월~현재 : 영남대학교  
정보통신공학과 박사과정

<주관심 분야> RF Engineering

박용완(Yong-Wan Park)

정회원



1982년 2월: 경북대학교  
전자공학과(공학사)

1984년 2월: 경북대학교  
전자공학과(공학석사)

1989년 2월: 뉴욕주립대  
전자공학과(공학사)

1992년 2월: 뉴욕주립대  
전자공학과(공학박사)

1992년 10월~1993년 12월: 캘리포니아 공과대학  
Research Fellow

1994년 1월~1996년 8월 한국이동통신  
PCS기술연구팀장

1996년 9월~현재: 영남대학교 전자정보공학부  
부교수

<주관심 분야> 차세대 이동통신시스템, MC-CDMA

유재황(Jae-Hwang Yu)

정회원



1984년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 (공학사)

1986년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 (공학석사)

1997년 3월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학  
전공 박사과정

1988년 4월~1993년 11월 : (주)국제상사 전자기술  
연구소 선임연구원

1993년 11월~현재 : SK Telecom Network연구원  
차장

<주관심 분야> : WCDMA Access Network,  
Location-based Service

최군돈(Goon-Don Choi)

정회원



1991년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 (공학사)

1993년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학석사)

1993년~1994년 : 국방과학  
연구소 근무

1995년~현재 : SK Telecom  
Network연구원 과장

<주관심 분야> : 이동통신 프로토콜